

ПЕРЕВОДЫ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2020. – Т. 29. – № 1. – С. 67-81

УДК 930.24+574.9

DOI 10.24411/2073-1035-2020-10301

ДЕСЯТЬ ЭВРИСТИК ДЛЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ПРОЕКТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Крейг Николсон¹, Энтони М. Старфилд²,
Гари П. Кофинас^{3,4}, Джек А. Крузе⁴

¹ Кафедра охраны природных ресурсов, Массачусетский университет, Амхерст (США);

² Кафедра экологии, эволюции и поведения, Университет Миннесоты, Сент-Пол (США)

³ Институт арктических исследований, Дартмутский колледж, Ганновер (Нью-Гэмпшир, США)

⁴ Институт социально-экономических исследований, Университет Аляски-Анкоридж,
Анкоридж (США)

Решение комплексных экологических проблем и проблем энвайронменталистики требуют совместных междисциплинарных усилий. Общим подходом к интеграции дисциплинарных взглядов на эти проблемы является разработка имитационных моделей, в которых явно представлены связи между компонентами системы. Однако в литературе мало указаний о том, как такие модели следует разрабатывать в ходе совместной командной работы. В этой статье мы предлагаем набор эвристических правил (практических процедур), которые решают ряд проблем, связанных с этой задачей, в том числе выбор членов команды, согласование консенсусного взгляда на проблему исследования, модели прототипирования и уточнения, роль анализа чувствительности и важность командного общения. Эти эвристики возникли из сравнения нашего опыта работы с несколькими междисциплинарными проектами моделирования. Для иллюстрации работоспособности этих эвристик мы используем один такой опыт – проект, в котором ученые-естествоиспытатели, социологи и местные жители собрались вместе, чтобы исследовать устойчивость небольших коренных общин в Арктике. *Ключевые слова:* междисциплинарный, моделирование, экосистема, сотрудничество, устойчивость, Арктика, комплексная оценка, командная работа.

Craig R. Nicolson, Anthony M. Starfield, Gary P. Kofinas, Jack A. Kruse. Ten Heuristics for Interdisciplinary Modeling Projects. – Complex environmental and ecological problems require collaborative, interdisciplinary efforts. A common approach to integrating disciplinary perspectives on these problems is to develop simulation models in which the linkages between system components are explicitly represented. There is, however, little guidance in the literature on how such models should be developed through collaborative teamwork. In this paper, we offer a set of heuristics (rules of thumb) that address a range of challenges associated with this enterprise, including the selection of team members, negotiating a consensus view of the research problem, prototyping and refining models, the role of sensitivity analysis, and the importance of team communication. These heuristics arose from a comparison of our experiences with several interdisciplinary modeling projects. We use one such experience – a project in which natural scientists, social scientists, and local residents came together to investigate the sustain-ability of small indigenous communities in the Arctic – to illustrate the heuristics.

Key words: interdisciplinary; modeling; ecosystem; collaboration; sustainability; Arctic; integrated assessment; teamwork.

projects // *Ecosystems*. 2002. V. 5, No. 4. P. 376-384. (перевод и постраничные комментарии [под буквами – a, b, с...] Г.С. Розенберга).

ВВЕДЕНИЕ

В последние 100 лет знания становятся все более специализированными. Эта специализация привела к огромным интеллектуальным и технологическим достижениям, но она также привела к усилению разобщенности даже в рамках одной современной научно-исследовательской организации (Nissani, 1997). Многие важные проблемы в обществе просто не могут быть адекватно решены с помощью точки зрения одной дисциплины. Это особенно очевидно для проблем с экологической компонентой, таких как защита водосбора, устойчивое развитие и изменение климата. Эти вопросы требуют от нас комплексного подхода; по сути, это системные проблемы. Для эффективного решения системных проблем нам необходимо объединить дисциплины, [навести] мосты между разными точками зрения (Gunderson et al., 1995; Parson, 1995), и иметь дело со сложными взаимодействующими процессами, которые работают в разных временных и пространственных масштабах (Holling, 1995; Likens, 1998). Интегрируя и обобщая знания из разных областей, новая область комплексной (интегральной) оценки (integrated assessment, IA) пытается достичь этой цели (Risbey et al., 1996).

В IA имитационные модели обычно используются для синтеза дисциплинарных знаний. Они ни в коем случае не являются новыми инструментами для ученых (см., например, работу по моделированию морских экосистем [Riley, 1947]), а с начала 1970-х годов результаты такого моделирования стали доступны и широкой общественности (см., например, широко освещаемое исследование «Пределы роста», проведенное Медуоз и другими для Римского клуба в 1972 году). Интегрированные модели систем имеют три чрезвычайно полезных преимущества для междисциплинарных исследователей. Во-первых, модели таких систем обеспечивают способ кодирования знаний из разных дисциплин в единую и согласованную структуру. Во-вторых, они поощряют сфокусированное и дисциплинированное мышление о причинно-следственных связях в системе. В-третьих, они позволяют исследователям, управляющим экосистемами и заинтересованным сторонам изучить, как их система может реагировать на различные сценарии, чтобы можно было сформулировать ответы и реализовать управленческие действия. Однако системные модели могут достичь этих преимуществ только в том случае,

если они разработаны и используются осознанно и продуманно.

Разработка имитационных моделей – это отчасти наука, а отчасти ремесло; нет общих, безошибочных правил. Различные специалисты-практики используют свой опыт по-разному. В этой статье мы предлагаем 10 эвристик для междисциплинарного моделирования, которые мы разработали в течение нескольких лет благодаря нашему опыту участия в различных комплексных исследовательских проектах. Основная аудитория, которую мы имеем в виду, это люди, которые в настоящее время не занимаются междисциплинарными исследованиями, но заинтересованы в продвижении в этом направлении в будущем. Тем не менее, мы также надеемся стимулировать мышление, обсуждение и написание методологии среди современных практиков моделирования, и мы считаем, что наш акцент на быстрое создание прототипов и анализ чувствительности [моделей] будет для них интересен.

Что мы подразумеваем под «эвристикой»? Г. Поля (Polya, 1945) определил этот термин как «название определенного направления исследований», целью которого является «понять методы и правила открытия и изобретения». Однако в данном эссе, это слово используется в смысле, определенном так (Starfield et al., 1994): «эвристика – это правдоподобный или разумный подход, который часто оказывается полезным, практическое правило».

Другими словами, это документ, в котором выводы были получены индуктивно из нашего коллективного опыта по ряду междисциплинарных проектов, а не из дедуктивного обзора литературы, который исследует успех или провал других проектов на основе того, использовали ли они или не использовали эти эвристики.

Чтобы проиллюстрировать наши 10 эвристик, мы приводим примеры уроков, которые мы извлекли из разработки интегрированных междисциплинарных моделей для недавнего проекта, посвященного исследованию устойчивости арктических сообществ (Sustainability of Arctic Communities; SAC). В этом проекте участвовала команда из 25 ученых (представляющих восемь различных дисциплин как естественных, так и социальных наук) и жителей четырех коренных арктических общин на территории Юкона, Северо-Западных территорий и Аляски^a. Члены исследовательской группы прибыли из нескольких университетов и госу-

^a Old Crow (Yukon Territory, Canada); Aklavik and Fort McPherson (North-west Territories, Canada); and Arctic Village (Alaska, USA).

дарственных учреждений. Целью проекта было изучение того, как изменения в климате, туризме, разработке нефти и государственном финансировании могут повлиять на устойчивость наших партнерских сообществ. Сообщества сами определили свои цели по устойчивости в начале проекта (G.P. Kofinas et al., не опубликовано). Эти цели включали в себя (а) поддержание тесных отношений с землей и животными, (б) развитие здоровой смешанной экономики (то есть экономики натурального сбора урожая параллельно с реальной экономикой), (в) осуществление местного контроля над использованием земли и ресурсов на своей родине, (д) обучение своих молодых людей как традиционным знаниям, так и западной науке, а также просвещение посторонних об их образе жизни; и (е) поддержание процветающей культуры коренных народов (о чем свидетельствует, например, использование языка коренных народов, уважение к старейшинам общины и пр.). Другими словами, сообщества коренных народов представляли устойчивость не просто с точки зрения устойчивого использования ресурсов, но также с экономической, политической и социально-культурной точек зрения. Для решения этой комплексной задачи сообществу, очевидно, было важно принять междисциплинарное представление о системе. Интегрированный подход в любом случае подразумевался в разработке исходного проектного предложения и в кругу ученых (специалистов в разных дисциплинах), включенных в исследовательскую группу. Их опыт охватывал области экологии растительности, биологии карибу (северных оленей), поведения карибу, экономики домашних хозяйств, культурной экологии, социальной антропологии, анализа политики, арктического туризма и моделирования природных ресурсов.

Акцент в данной статье сделан не на самом проекте SAC, хотя из этого проекта будут взяты примеры для иллюстрации наших эвристик. Кроме того, приведенные здесь эвристики относятся в первую очередь к ученым, работающим с другими учеными над междисциплинарными проектами, а не к ученым, работающим с долевым участием. Проект SAC не только помог собрать ученых, но и привлек жителей коренных арктических общин. Сопутствующий документ к этому (G.P. Kofinas et al., не опубликовано) предлагает эвристики для взаимодействия исследователя с заинтересованными сторонами и для синтеза местных знаний и науки. Наконец, хотя мы обсуждаем различные аспекты командной (совместной) работы, мы фокусируемся не на совместной работе в целом (как, например, Grey, 1985, 1991 или Kofinas,

Griggs, 1996), а на процессе совместной разработки моделей синтеза.

Эвристика 1. Знать, какие навыки нужно искать при подборе междисциплинарной команды. Вывод о том, что любая команда специалистов будет эффективно работать вместе, чтобы создать тесно интегрированный взгляд на систему, достаточно предвзятый. Действительно, существует много проблем и препятствий, которые необходимо устранить, прежде чем различные ученые смогут эффективно работать вместе в междисциплинарном режиме. Среди этих препятствий – проблема междисциплинарного общения, поскольку специалисты привыкли взаимодействовать со сверстниками в своих областях, которые разделяют общее видение проблем и общий язык для их обсуждения. Проблема коммуникации будет рассмотрена в **эвристике 9**, но она также актуальна и здесь, потому что она может стать камнем преткновения при выборе и наборе членов команды. Для обеспечения хорошего общения между потенциальными членами команды даже на этапе найма на работу важно разработать прототип концептуальной модели системы (см. **эвристику 3**).

Основным препятствием для междисциплинарной работы является то, что ученые обучаются и общаются со школьной скамьи, чтобы сосредоточиться на узких, поддающихся решению проблемах в четко определенных границах. Их учат, как определять проблемы, которые лежат на переднем крае их дисциплины, и они изучают соответствующие методы для решения этих проблем. Другими словами, используя представления К. Холлинга (Holling, 1996) о различии между наукой о деталях и наукой об интеграции частей, научная подготовка по сути является введением к методам и нормам науки о частях. В науке о частях исследователи в рамках дисциплины сосредотачиваются на узко определенном вопросе с целью снижения неопределенности до точки консенсуса. Напротив, наука об интеграции частей требует людей, которые стремятся изучать сложную систему, сосредоточив внимание не столько на отдельных компонентах системы, сколько на взаимосвязях между ее компонентами. Хотя часто верно, что выдающиеся междисциплинарники также имеют очень высокую репутацию в области специализации, а лучшие дисциплинарные умы не обязательно являются лучшими междисциплинарными членами команды. Междисциплинарные проекты интеллектуально требовательны в отличие от классической редуционистской науки, и им нужны, по крайней мере, некоторые крупные ис-

следователи, которые будут творчески изучать связи и интерфейсы между своей собственной дисциплиной и другими областями исследования, в которых они сами могут не иметь специальных знаний.

Другим ключевым атрибутом хорошего междисциплинарного члена команды является способность упростить то, что известно, и, при необходимости, угадать неизвестное (см. **эвристику 8**). Эти действия требуют от людей глубокого понимания своих дисциплин: слабые или ненадежно дисциплинарные умы могут помешать прогрессу команды, отказавшись исследовать связи, упростить свою сферу или угадать неизвестные факторы. Эти мероприятия необходимы не только для успешного проведения междисциплинарного исследования, но они часто не относятся к тем видам деятельности, которые их собственные коллеги по дисциплине признают в качестве ценного вклада в свою область, и публикация их работ может быть нелегкой. Молодые ученые особенно подвержены риску, потому что они еще не утвердили свою репутацию и потому что системы поощрений в академических кругах склоняются в пользу дисциплинарных специалистов.

Все члены команды, которые приступают к междисциплинарным проектам, должны быть заранее осведомлены об этих видах проблем, чтобы они присоединились к команде с реалистичными ожиданиями, авантюрным отношением и готовностью работать в междисциплинарном общении. Чтобы руководитель проекта знал, подходит ли кто-то команде, ему или ей следует искать ученых, которые могут видеть общую картину, чей послужной список показывает способность работать с людьми вне их собственной дисциплины, которые являются хорошими слушателями и чей интерес к проблеме перевешивает их заботу о карьерном росте! Как можно мотивировать таких людей на участие? Одним из стимулов может быть просто обращение к интеллектуальному удовлетворению от того, что их дисциплинарные интересы вписываются в более широкие рамки, тем самым обостряя их понимание своих дисциплин.

Эвристика 2. Активно инвестируйте в определение проблемы в начале проекта. По своей природе проекты, которые включают в себя сложные системы со многими взаимодействующими компонентами, подходят для множества целей. Различные заинтересованные стороны часто имеют разные представления о проблеме. Кроме того, каждый эксперт по дисциплине имеет личную профессиональную заинтересованность в определении проблемы, с тем чтобы придать его или ее дисциплине заметную

роль с предвзятым отношением к конкретному опыту исследователя в данной дисциплине. В отсутствие сильного руководства гораздо проще в конечном итоге провести междисциплинарные исследования (где эксперты работают параллельно друг с другом без особой интеграции), чем действительно междисциплинарные исследования. Чтобы решить эту проблему, проблема должна быть продумана и четко определена с самого начала. Это никогда не бывает простым упражнением, даже если для исследования есть веские причины. Стороны, участвующие в определении проблемы, должны понимать, что выбор направления проекта IA в основном является переговорным процессом. По этой причине всем сторонам (исследователям дисциплины, заинтересованным сторонам и финансирующим агентствам) должны быть предоставлены возможности для обмена мнениями, и они должны знать приоритеты друг друга.

Эвристики 1 и 2, очевидно, взаимосвязаны. Пока вы не определите проблему, вы не сможете собрать команду; и пока у вас нет команды, вы не сможете определить проблему. (Вот почему мы выдвинули идею разработки прототипа концептуальной модели даже на этапе набора членов команды.) Идеальная ситуация – это ситуация, когда небольшая группа имеет возможность сделать первоначальную попытку определить проблему и затем перейти к выбору необходимых дополнительных знаний. Такая возможность требует либо достаточного финансирования проекта (на этом этапе), либо инфраструктуры, которая объединяет небольшую группу.

В исследовании «Устойчивость арктических сообществ» Дирекция экосистем высоких широт (High Latitude Ecosystems Directorate; HLED) программы США «Человек и биосфера» (MAB) предоставила возможность группе ученых-естествоиспытателей и социологов взаимодействовать друг с другом в разных дисциплинах и сформулировать пример и предварительное определение проекта. Группа из шести человек в рамках HLED начала обсуждение за 2 года до того, как появилась возможность финансирования, и решила сосредоточиться на совокупном воздействии будущего изменения климата и разработок нефтяных месторождений на карibu (*Rangifer tarandus*) в условиях бесплодных земель, и на коренных народах, которые зависят от карibu как источника средств к существованию. На этом начальном этапе сообщества заинтересованных сторон не были непосредственно вовлечены в Программу. Это было ошибкой, даже несмотря на то, что несколько групп ученых работали с коренным населением в течение многих лет и поэтому

хорошо разбирались со связанными с ними проблемами. На основании предварительного определения проблем, группа получила разрешение от комитета МАБ США на объявление набора новых специалистов в качестве дополнительных членов HLED, имеющих опыт работы в области культурной экологии, моделирования и биологии карибу. По мере набора, эти новые исследователи приносили новые взгляды (идеи) на проблему, и процесс переговоров был сфокусирован. Представители заинтересованных коренных народностей присоединились к проекту уже на первом году и предоставили важную информацию для проверки реальности в нашем понимании проблем (G.P. Kofinas et al., не опубликовано).

С самого начала работы над проектом предвидеть подходящее определение проблемы крайне сложно. Фактически, во время ранней части проекта SAC участвующие ученые чувствовали, что цель постоянно менялась. Оглядываясь назад, команда должна была встраивать новые структуры (блоки модели) в переговорный процесс, чтобы обеспечить сближение в определении проблемы. Чтобы повысить ясность мышления и дать членам группы возможность убедиться в правильности первоначального определения проблемы, мы рекомендуем следующие структурированные процедуры:

1. сотрудничать в разработке первых прототипов имитационных моделей «сомнительных – straw» систем, и
2. представить текущее понимание системы для «экспертной оценки» заинтересованными сторонами. Необходимость сформулировать определение проблемы для аудитории за пределами самой команды, дисциплинирует и помогает прояснить саму идею.

Эвристика 3. Используйте быстрое макетирование (prototyping) на всех этапах моделирования. Трудно не только правильно определить проблему с первой попытки, но и чрезвычайно сложно в начале нового проекта определить относительную важность каждого из компонентов. Таким образом, быстрое создание прототипов моделей (макетирование) имеет важное значение. Вместо того, чтобы пытаться уточнить в начале проекта, как будет выглядеть окончательная модель и какие вопросы она будет решать, участники должны признать, что первый год будет посвящен разработке прототипа модели, направленной на уточнение целей проекта исследования. Более того, в последующие годы проблема и модель будут дополнительно уточняться с помощью последовательных прототипов (см. [Schrage, 2000] для ряда

тематических исследований из делового мира, в которых макетирование и последовательное усовершенствование неизменно приводили к превосходным конечным результатам). Только когда участники проекта видят фактический результат моделирования, они могут начать понимать общую картину и получить представление о динамике системы в целом^b. Это понимание позволяет им представить свой вклад в перспективе. Кроме того, только когда модель-прототип работает, постепенно начинает проявляться относительная важность различных компонентов системы или недостатки в разработке исходных гипотез.

Например, первоначальное предложение по проекту SAC предусматривало примерный временной интервал в 100–200 лет. Пересмотренное предложение (с дополнительным акцентом на арктические сообщества) определило временной интервал в 40 лет. Одна из первоначальных гипотез состояла в том, что изменение климата приведет к изменениям в биомассе летней растительности и составе растительного сообщества, и что эти изменения затронут стада карибу, что, в свою очередь, повлияет на их численность. На основе такого определения проблемы был разработан набор показателей устойчивости. К ним отнесли растительную биомассу, размер (численность) стада карибу, время охоты и сезонное изменение биомассы карибу. Мы разработали модель, которая решит проблему так, как она была определена. Однако в процессе разработки и тестирования модели мы обнаружили, что существуют временные задержки в 50–100 лет, прежде чем какие-либо существенные (смоделированные) эффекты изменения климата станут очевидными на уровне растительного сообщества или биомассы карибу (Epstein et al., 2000); поэтому изменения растительности, связанные с климатом в течение 40-летнего периода, были почти незаметны. Из первоначального моделирования мы также узнали, что, пока размер стада карибу превышает определенный порог (по оценкам, составляет около 60% от его нынешнего уровня), годовые схемы миграции карибу влияют на успех «сбора урожая» (получения их биомассы) гораздо больше, чем уменьшение или увеличение размера стада. Это говорит о том, что первоначальный акцент на динамике поголовья стада

^b В полном соответствии с мемами Эмиля Кроткого: «Если ты хочешь быть впереди классиков – пиши предисловия к ним» или Томаса Джефферсона: «Ничто не мешает человеку с правильным настроем достичь своей цели; человеку с неправильным настроем ничто не поможет».

мог быть неуместным. В обоих этих примерах определение проблемы постановка задачи) привело нас к убеждению, что некоторые факторы важнее, чем они казались.

Также важно убедиться, что связи между различными частями системы сильны и что в поведении системы не доминирует один компонент (в этом случае проблема не обязательно требует междисциплинарного подхода). Наш опыт и опыт других практиков (например, [Holling, 1978; Walters 1986]) показал, что более плодотворно начинать с самой системы и смотреть на компоненты, а не смотреть на нее по отдельным компонентам.

Одна из опасностей в междисциплинарной работе по моделированию состоит в том, что люди, которые не владеют системным моделированием, могут не справиться с задачей должным образом. Решение не в том, чтобы набирать только ученых, ориентированных на модель (что ограничило бы масштабы и широту ее синтеза), а в том, чтобы работать над привлечением не модельеров в процесс. Модели-прототипы, которые достаточно просты для демонстрации и объяснения всем членам команды, являются важным шагом в обучении таких не модельеров.

Эвристика 4. Сфокусировать усилия на достижение главной цели проекта, не выделяя все средства заранее. Это роскошь, редко доступная ученым-исследователям, учитывая текущую политику многолетних проектов с множеством привлекаемых специалистов. Однако одна из трудностей, связанных с междисциплинарными исследованиями, заключается в том, что определение проблемы часто представляет собой основную часть проекта. Таким образом, возникает ситуация с курицей и яйцом. Проблема не может быть определена до тех пор, пока не будет создана рабочая группа, но невозможно понять, насколько глубоко вовлекаются конкретные члены команды, пока проблема не будет определена. Даже когда проблема, по-видимому, четко определена, априори крайне сложно оценить, какие компоненты наиболее сильно определяют динамику системы, пока не будет создан первый прототип модели. Вполне вероятно, что относительная важность различных компонентов будет проявляться только во время исследования. Мы уже ссылались на первоначальную гипотезу «изменение климата → изменение растительности → динамика численности стада карибу → доступность карибу для охотников». К тому времени, когда мы обнаружили, что эта, очевидно, центральная гипотеза не была главной движущей силой перемен, средства проекта

были распределены, и их было нелегко перенести на новые развивающиеся гипотезы.

Возможно, было бы лучше, если бы финансирующие агентства выделяли средства для предварительного планирования (скажем, на первый год или посредством разработки первого опытного образца), а затем финансировали оставшуюся часть проекта только тогда, когда было продемонстрировано, что правильное сочетание ученых работает вместе эффективно и «атакует» четко определенную проблему. Если все средства выделяются заранее на весь период исследования, руководство проекта не может гибко добавлять новых людей по мере необходимости в их знаниях или перераспределять средства из компонента работы, который мало что дает интегрированным усилиям.

Эвристика 5. Запрет всех моделей или компонентов модели, которые непостижимы (загадочны, *inscrutable*). Модель с «загадочными» параметрами (*не понятными, плохо интерпретируемыми*. – Г.Р.) – это черный ящик, в котором внутренняя работа недоступна для всех, кроме оригинальных разработчиков. Пользователь обязан принимать вывод на веру. Проблема с непостижимыми моделями заключается в том, что у людей нет стимула взаимодействовать с ними интеллектуально. Если модель дает какие-то противоречивые результаты, люди не могут получить доступ к логике, которая привела к этим результатам. Поэтому неудивительно, что их обычная реакция, – потеря доверия к модели, и не заинтересованность в понимании того, как промежуточные отношения привели к этим конечным результатам.

В проекте SAC сложная модель энергетики карибу (Hovey et al., 1989; Kremsater, 1991; Daniel, 1993) изначально считалась важной на стыке изменения растительности и динамики популяции карибу. Позже мы поняли, что нам действительно были более нужны модели распределения и перемещения стада, но модель энергетики уже была построена и «взяла» на себя (*и время, и финансирование*. – Г.Р.). Пока мы не разработали гораздо более простую модель миграции популяции карибу, проект зависел от результатов модели черного ящика, которую поняли и использовали лишь немногие. Нисходящий подход быстрого макетирования (создания прототипа) мог бы помочь избежать этой ситуации. Графическое представление системы в виде прямоугольников и стрелок (Jørgensen, 1986; Walters, 1986) в сочетании с простейшими возможными компонентными моделями, запрограммированными с использованием программного обеспечения, легко доступного для всех членов команды (например, электронных таб-

лиц), позволяют группе ученых из различных научных дисциплин понять и взаимодействовать с ключевыми отношениями модели.

Эвристика 6. Вместо того, чтобы концентрироваться на синтезе одной универсальной модели, инвестируйте в набор моделей, каждая из которых имеет четко определенную цель. Эта эвристика особенно применима к совместной стадии разработки проекта. Это позволяет участникам с различным спектром знаний (представляющих разные научные дисциплины) взаимодействовать с моделями, которые фокусируются на интерфейсах между этими подмножествами.

Может показаться, что идея построения набора моделей идет вразрез с самой идеей моделирования в рамках междисциплинарного синтеза, но объединение существующих подмоделей воедино может быть сложным и весьма трудоемким процессом. Субмодели могут работать в разных временных масштабах из-за характера основных процессов. Подобные переменные в двух подмоделях могут быть представлены на разных уровнях детализации. Вероятностные результаты, создаваемые одной стохастической подмоделью, могут переводиться в жесткие и быстрые входные значения для других детерминированных подмоделей в системе^с.

^с В данной эвристике нет ничего «сверхнового». *Блочный принцип построения модели* (или *принцип расщепления, модульный принцип*) не редко позволяет преодолеть «проклятие многомерности» Р. Беллмана (1960; список цитируемых в моих сносках работ представлен сразу после последней сноски) или «угрозу необозримости модели» Д.А. Саранчи (1996) при построении имитационной модели; прокомментирую его более подробно.

Блочный принцип построения имитационных моделей, позволяет всю моделируемую систему «разбить» на ряд подсистем, которые связаны между собой незначительным числом «обобщенных взаимодействий» и могут быть верифицированы до включения их в общую модель. Описание взаимосвязей параметров внутри каждого блока, в принципе, может быть выполнено с использованием своего собственного математического аппарата; этот подход позволяет также достаточно просто заменять отдельные блоки, конструируя новую имитационную модель. Соподчинение блоков в модели может быть, как последовательным, так и перекрестным (Розенберг, 2013). Замечу, что в соответствии с «законом Брукса» («Если проект не укладывается в сроки, то добавление рабочей силы задержит его еще больше» [Брукс, 1979, с. 26]), максимальное число разработчиков имитационной модели зависит от числа независимых подзадач – блоков системы.

Разбиение системы на блоки во многом зависит от целей исследования. Определение значимых составляющих и декомпозиция системы – процедура,

Весьма важно адекватно представить логику и результаты каждой подмодели в комплексе со всеми другими соответствующими подмоделями, с которыми она связана; если это сделано правильно, может не возникнуть необходимости иметь одну модель «суперсинтеза», которая «запускает» каждую подмодель в пределах той же общей структуры программирования. На самом деле, для контроля качества, вероятно, хорошо иметь какой-то человеческий интерфейс между подмоделями. Это позволяет оценивать результаты каждой подмодели и качество ее выводов; в результате можно определить, как наилучшим образом включить выводы, полученные из каждой модели, в следующую подмодель. Этот процесс помогает определить, какие детали не являются существенными, и позволяет разработать «сводную» модель всей системы на уровне абстрактности, которая первоначально могла быть неприемлемой для некоторых членов команды.

Еще один аргумент в пользу набора моделей заключается в том, что мало пользователей общей синтезированной модели будут интересоваться всеми ее компонентами. Большинство людей интересуются только тремя или четырьмя результатами моделирования. Набор моделей позволяет пользователям изучать компоненты, с которыми они знакомы, и видеть, как эти результаты соответствуют ожидаемым результатам, основываясь на своих знаниях и опыте работы с этой частью системы. Однако

в известной степени, субъективная, таящая в себе возможность совершения ошибки (процедура деления системы на блоки связана с общей проблемой редукционизма, при которой редукция используется не как набор постулатов [составляющая парадигмы «физикализма»], а в качестве рабочего метода [Мейен, 1978; Розенберг, 2013]). Кроме того, блочный принцип построения имитационной модели таит опасность накопления систематической ошибки (потери точности) при прогнозировании.

При всех отмеченных недостатках и дополнительных усложнениях, этот принцип все же значительно упрощает всю процедуру построения имитационной модели:

- каждый блок может быть описан с помощью того аппарата, который представляется наиболее адекватным тому или иному процессу,
- повышается возможность идентификации модели,
- возникает необходимость интеграции усилий многих исследователей, так как построение различных блоков может быть доверено разным коллективам исследователей,
- уменьшаются технические трудности, связанные с ограниченностью памяти ЭВМ, используемых для моделирования экологических систем и процессов.

для ненаучных пользователей полезно иметь цельный интерфейс, позволяющий им исследовать ту часть системы, которая им наиболее интересна. Если такой интерфейс отсутствует, пользователи не могут представить (распознать), как выглядит интегрированная модель системы, и большая часть пользы от упражнения [с моделью] будет потеряна.

Эвристика 7. Поддерживайте здоровый баланс между хорошо и плохо понятыми компонентами системы. Все модели систем – это баланс действий между тем, что человек знает и понимает, и тем, что он не знает. Сбалансированность состоит в том, чтобы уделять слишком много внимания тем частям системы, где понимание и данные хороши, и игнорировать или приукрашивать области, где мало что известно. Это неудивительно, учитывая то, как научная инициатива склоняется в пользу специалистов. Например, даже если может существовать четкая и очевидная связь между миграцией карибу и экономическим производством домашних хозяйств, биолог-карибу может знать очень много о деятельности и энергетике карибу, но относительно мало о моделях миграции стада. Экономист может хорошо разбираться в факторах, влияющих на решения людей о найме на работу, но относительно мало знать о факторах, влияющих на успешную охоту и заготовку мяса карибу на самой земле.

Кроме того, людям нравится концентрироваться на деталях, которые они знают и понимают (Likens, 1998). В частности, это ученые, реализующие себя в рамках эпистемологии, которые высоко ценят подробные количественные факты и склонны слабо (смутно) рассматривать неопределенность (даже когда эта неопределенность несет обоснованное предположение в важности области, где мало что известно). Они часто скептически относятся к упрощению и еще более смущаются идеей образованных догадок. Например, модель экономики села, которую мы разработали для проекта SAC, содержала более 90 различных категорий рабочих мест, каждая из которых характеризовалась с точки зрения необходимого уровня образования, сезонной доступности и того, были ли мужчины или женщины более вероятны на этой работе. Эти определения были обоснованы данными обследований. Тем не менее, экономисты в нашей команде неохотно размышляли о том, как эти позиции могут меняться в течение следующих 40 лет; как следствие, модель содержала неявное предположение, что социальные нормы, такие как гендерные предпочтения в отношении типов работы, не изменятся в течение двух поколений.

Поддержание баланса между известным и неизвестным требует сильного руководства проектом. В обзоре проектов IA (Parson, 1995) отмечено: «Поскольку исследователи, работающие в своих областях, обычно не обращают внимания на границы других областей, достижение этого сдвига внимания требует некоторой формы полномочий в проекте оценки или, по крайней мере, механизма координации и общего языка для общения через эти границы». Одним из способов достижения такой координации будет привлечение стороннего консультанта по моделированию, который мог бы содействовать проведению ключевых семинаров. Помимо предоставления новой точки зрения, посторонний человек, которому доверяет команда, может также предоставить тот вид полномочий, на который ссылается Э. Парсон. Модельеры, конечно, не единственные люди, которые могли бы выполнять эту роль. Две наиболее важные составляющие квалификации такого консультанта – это способность видеть общую картину, заслуженное доверие и уважение других членов команды. Эти качества вполне могут присутствовать у одного из дисциплинарных специалистов, если он или она также является хорошим ученым. Однако благодаря быстрому предварительному макетированию и анализу чувствительности моделирование может быть особенно полезным для ранжирования относительной важности частей и процессов в модели, а также для быстрой оценки ценности и различий между альтернативными предположениями о реализации неизвестных сценариев. Разработчики общей модели должны быть поощрены и уполномочены использовать свои навыки, чтобы помочь разрешить противоречия между простотой и деталями, которые присущи любому проекту моделирования (Costanza, Sklar, 1985; Starfield, Bleloch, 1991).

Эвристика 8. Анализ чувствительности модели жизненно важен на всех этапах моделирования. Тщательный анализ чувствительности^d включает в себя тестирование не

^d Анализ чувствительности (англ. *sensitivity analysis*) вносит некоторую ясность в вопрос о полезности тех или иных переменных. Он позволяет выделить ключевые переменные, без которых анализ невозможен, и идентифицировать те, которые можно без ущерба исключить из рассмотрения. Иными словами, анализ чувствительности позволяет определить некоторые критические точки (Tomovic, 1963; Молчанов, 1975; Недоступ, 1982; Розенберг, 2013), небольшое воздействие на которые может вызвать очень сильную реакцию модели в целом. Тем не менее, существует ряд важных моментов, которые нужно принимать во внимание при использовании этой процедуры.

только различных значений параметров, но также допущений и влияния альтернативных образованных догадок на основные процессы (см., например, [Starfield et al., 1995; Starfield, Bleloch, 1991]). Анализ чувствительности является единственным доступным средством определения того, что входит в модель и какой уровень детализации необходим. Это важный инструмент для оценки вероятных эффектов альтернативных гипотез для системных процессов. Анализ чувствительности следует рассматривать не просто как автоматизированный процесс, который проверяет все параметры, а скорее, как важную часть *культуры моделирования*, которая используется для вдумчивого изучения альтернативных предположений. От-

В общем случае входные переменные не являются независимыми. Анализ чувствительности располагает их в том порядке, который соответствует степени ухудшения качества модели при исключении из нее соответствующей переменной. При этом каждой переменной присваивается определенный рейтинг. Однако при наличии зависимостей между входными переменными исследователь не может быть уверен в том, что такой «одиночный рейтинг» правильно отражает реальную ситуацию.

Некоторые взаимозависимые переменные могут быть полезны только тогда, когда они представлены в совокупности. Если такой набор включить в модель целиком, то для всех этих переменных будут получены высокие показатели чувствительности, что, тем не менее, не позволит выявить зависимости. Гораздо хуже, если в модель включена только часть набора зависимых переменных; при этом показатели чувствительности будут близки к нулю, как будто эти переменные не содержат никакой важной информации.

Итак, анализ чувствительности не позволяет надежно определить «полезность» переменных в абсолютной шкале, и все выводы об их важности нужно делать с осторожностью. И, тем не менее, эта процедура оказывается чрезвычайно полезной на практике: анализ чувствительности позволяет выделить ключевые переменные, которые всегда важны и имеют высокий показатель чувствительности, определить переменные с низкой чувствительностью и получить информацию о «сомнительных» переменных, которые меняют свой рейтинг и, возможно, содержат избыточную информацию.

Другой тип чувствительности – это *чувствительность общих характеристик* модели (таких как устойчивость, равновесное значение и т. д.) к изменению её параметров. Такой анализ полезен тем, что определяет более точно те области, где необходимы тщательные лабораторные или натурные эксперименты.

В целом, анализ чувствительности особенно полезен в условиях недостатка информации о поведении системы, при необходимости выбирать стратегию её исследования.

сюда следует, что анализ чувствительности должны выполнять большинство (в идеале, все) участники команды, а не только разработчик модели. Поскольку каждый человек в команде привносит свой взгляд на проблему, он может проводить разные эксперименты и обнаруживать разные проблемы. Фактически, командные усилия необходимы как для выявления неявных предположений (например, социальные нормы не меняются в течение двух поколений), так и для разработки вероятных альтернативных сценариев в рамках анализа чувствительности.

Тесты на чувствительность по сути являются мини-экспериментами. Чтобы быть эффективными в формировании процесса создания модели-прототипа, модели, поддерживающие мини-эксперименты, должны работать практически в реальном режиме времени. Ожидать дни, недели или месяцы для получения результатов модели слишком долго. Мы обнаружили, что способность работать в группе для настройки имитационной модели, а затем просмотра результатов в течение минуты или двух, в основном, соответствовала нашим ожиданиям и достижениям в разработке модели, которая «пересекала» дисциплинарные границы.

Эвристика 9. Упорно работайте над общением и бюджетом при личных встречах. Эффективное общение лежит в основе междисциплинарных исследований. Ученым не только необходимо взаимодействовать друг с другом для создания комплексного представления о системе, но и их результаты должны быть четко разъяснены заинтересованным сторонам и общественности. В эпоху Интернета общение может принимать разные формы, в том числе напоминания сервера рассылки, электронные письма, телефонные звонки, небольшие рабочие группы «лицом к лицу», пленарные и публичные собрания. Каждое средство коммуникации служит своей цели, и рискованно полагать, что просто потому, что в нашем распоряжении есть эти инструменты, люди из разных дисциплинарных областей будут автоматически эффективно общаться друг с другом. В проекте SAC ученые часто, казалось, достигли точки понимания в своих дискуссиях, но позже выяснили, что на самом деле они имели в виду довольно разные вещи (иногда в результате использования одних и тех же слов, но с разным значением). Члены команды должны прилагать усилия, чтобы лучше познакомиться с ментальными рамками друг друга и понять, что имеют в виду конкретные люди, когда они используют определенные слова или понятия. Это одна из причин, почему быстрое создание прототипов так ценно. Это быстро приводит к

продукту, который обеспечивает общий язык и позволяет участникам сказать: «Нет, это не совсем то, что я имею в виду».

Одним из способов улучшения коммуникации является разработка имитационных моделей в легко доступных средах моделирования, таких как электронные таблицы. Цель состоит в том, чтобы постоянно работать над созданием прозрачных и доступных моделей, с тем чтобы модели были понятны каждому в команде. В связи с этим мы обнаружили, что электронные таблицы имеют ряд преимуществ перед традиционными языками программирования, такими как FORTRAN, BASIC или C++. Большинство ученых знакомы со средой электронных таблиц и её основными понятиями. Кроме того, электронные таблицы позволяют нам быстро и легко разрабатывать «сомнительные – straw» модели в рамках диалога между участниками, поэтому мы можем постоянно указывать на что-то осязаемое и спрашивать: «Это то, что вы имеете в виду?». Встроенные графические функции электронных таблиц обеспечивают графическое отображение вывода модели с очень небольшим усилием программирования. Наконец, поскольку электронные таблицы выполняют вычисления при каждой смене ячейки, они являются мощными инструментами для анализа чувствительности.

В дополнение к общению внутри группы, вторая обширная область взаимодействия, требующая тщательного внимания, заключается в том, как интегрированная работа команды будет доводиться до сведения заинтересованных сторон и общественности, и эта задача часто недопредставлена во многих научных проектах. Междисциплинарные исследования, которые непосредственно влияют на жизнь людей, должны быть объяснены им на доступном языке, без [лишней] технической научной терминологии. Результаты должны быть отражены в повседневных условиях, и крайне важно изложить как практические последствия результатов, так и области неопределенности. Финансирующие агентства должны быть готовы поддерживать информационно-пропагандистскую и междисциплинарную часть исследований, а ученым нужна помощь специалистов по коммуникациям, чтобы донести свои результаты до публичного обсуждения в форме, которую можно «переварить» (усвоить, digested) и обсудить. Усилия, направленные на это в рамках Проекта SAC, включают разработку упрощенного интерактивного веб-интерфейса модели, который мы называем «Модель возможного будущего» (G.P. Kofinas et al., не опубликова-

но). Модель демонстрирует наши попытки постоянных инноваций во всех областях интерфейса между моделью и пользователем: простота использования, гипертекстовая документация, графический вывод и встроенные функции для объяснения результатов модели и документирования комментариев пользователей.

Важным уроком проекта SAC стало то, что бюджет для личных встреч был недостаточен (как для встреч между исследователями, так и для встреч исследователей и партнеров из сообщества). В Проекте были заложены средства для ежегодных проектных встреч всей команды; они имели определенную ценность, но мы обнаружили, что гораздо полезнее проводить рабочие сессии с участием небольшого числа исследователей различных компонент-дисциплин для разработки конкретных связей таких компонент. Электронная почта не является эффективным средством планирования и творческого генерирования идей. Письменные обмены работают лучше всего, когда есть общее понимание проблемы, общие предположения и согласованный набор задач; личные встречи необходимы для принятия этих решений. Поскольку личные встречи намного более богаты коммуникативным контентом и поскольку они позволяют достигать доверия более легко, чем это можно сделать в серии письменных сообщений (Daft, Huber, 1987), встречи с исследователями компонент также имеют решающее значение для работы синтезатора моделей. Когда мы начали проводить эти встречи, был получен значительный импульс в разработке основной модели. Личный контакт должен быть неотъемлемой частью любого бюджета IA, особенно когда члены команды географически рассредоточены.

Эвристика 10. Подходите к проекту со смирением. Несмотря на то, что ученые в команде могут быть экспертами мирового уровня в своих соответствующих областях знания, они одновременно все могут быть любителями, когда речь идет о системе в целом. Стоит помнить, что выдающаяся группа экспертов по отдельным компонентам (блокам) не гарантирует выдающуюся системную команду. На самом деле, поскольку непрофессионалы часто имеют глубокое и целостное понимание своей местной среды, мы, ученые, можем быть не более «экспертами», чем они, даже если их знания не обязательно являются научными. Все члены команды должны потратить время на изучение и анализ подходов, предположений и методов друг друга. Что еще более важно, они должны хотеть иметь свои собственные предположения и заявления, проверенные другими. Это требует

смирения, готовности бросить вызов членам команды за пределами своей территории и готовности учиться на таких операциях. Азарт (excitement) решения проблемы междисциплинарных исследований заключается в совместном раскрытии неизвестного, а именно, поведения моделируемой системы.

Смирение и осторожность особенно важны, когда ученые работают над проектами, представляющих большую политическую значимость и оказывающих влияние на жизнь большого числа людей. Разработчики основной модели несут главную ответственность за обеспечение того, чтобы, во-первых, тщательно сформулировать предположения, лежащие в основе модели, и, во-вторых, чтобы полученные выво-

ды оказались убедительными и надежными даже в условиях неопределенности.

В духе смирения мы признаем, что 10 эвристик, представленных здесь, явно не являются исчерпывающими. Получение комплексной оценки является очень сложным делом, и как следствие, оно все еще находится на ранних стадиях разработки. Трудно понять не только динамику больших сложных систем, но и проблему объединения разнородных прогнозов в будущем. Мы предлагаем эти принципы просто потому, что считаем, что разработчикам моделей синтеза и междисциплинарным коллегам важно размышлять над тем, что они сделали, в надежде сделать это лучше в следующий раз^с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Costanza R., Sklar F.H.** Articulation, accuracy and effective-ness of mathematical models: a review of freshwater wetland applications // *Ecol. Model.* 1985. V. 27. P. 45-68.
- Daft R.L., Huber G.P.** How organizations learn: a communication framework // *Sociol. Org.* 1987. V. 5. P. 1-36.
- Daniel C.J.** Computer Simulation Models for the *Porcupine caribou* Herd: User's Guide Version 2.0. Prepared by ESSA Ltd. Richmond Hill (Ontario, Canada); Whitehorse (Yukon, Canada): Wildlife Service, Environment Canada, 1993. 17 p.
- Epstein H.E., Walker M., Chapin F.S., Starfield A.M.** A transient, nutrient-based model of arctic plant community response to climatic warming // *Ecol. Appl.* 2000. V. 10. P. 824-841.
- Gray B.** Conditions facilitating inter-organizational collaboration // *Hum. Rel.* 1985. V. 38, No. 10. P. 911-936.
- Gray B.** Collaborating: Finding Common Ground for Multiparty Problems. San Francisco: Jossey-Bass, 1991. 329 p.
- Gunderson L.H., Holling C.S., Light S.S.** (Ed.). Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions. N. Y.: Columbia Univ. Press, 1995. 593 p.
- Holling C.S.** Adaptive Environmental Assessment and Management. Chichester; L.: Wiley, 1978. 377 p.
- Holling C.S.** Surprise for science, resilience for ecosystems and incentives for people // *Ecol. Appl.* 1996. V. 6, No. 3. P. 733-735.
- Holling C.S.** Two cultures of ecology // *Conserv. Ecol.* 1998. V. 2, No. 2. P. 4. URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art4>.
- Holling C.S.** What barriers? What bridges? // Gunderson L.H., Holling C.S., Light S.S. (Ed.). Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions. N. Y.: Columbia Univ. Press, 1995. P. 3-34.
- Hovey F.W., Kremsater L.L., White R.G., Russell D.E., Bunnell F.L.** Computer Simulation Models of the *Porcupine caribou* Herd. II. Growth. Technical report No. 54. Vancouver (B.C.): Canadian Wild life Service, Pacific and Yukon Region, 1989.
- Jørgensen S.E.** Fundamentals of Ecological Modeling. Amsterdam: Elsevier, 1986. 389 p.
- Kofinas G.P., Braund S.R., Archie B., Charlie J. Sr., Eamer J., James S., Kruse K., Nicolson C., Tetlich J.** Integrating local knowledge in an integrated assessment: lessons from the Sustainability of Arctic Communities Project experience. Unpublished.
- Kofinas G.P., Griggs J.R.** Collaboration and the B.C. Round Table on the Environment and the Economy: an analysis of a «better way» of deciding // *Environments.* 1996. V. 23, No. 2. P. 17-40.
- Kremsater L.L.** Brief description of computer simulation models of the *Porcupine caribou* Herd // Butler C.E., Mahoney S.T. (Ed.) Proceedings of the 4th North American Caribou Workshop. St. Johns (Newfoundland): 1991. P. 299-314.
- Likens G.E.** Limitations to intellectual progress in ecosystem science // Pace M., Groffman P. (Ed.). Successes, Limitations and Frontiers in Ecosystem Science. N. Y.: Springer-Verlag, 1998. P. 247-271.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W.** Limits to Growth. N. Y.: Universe Books, 1972. 205 p.
- Nissani M.** Ten cheers for interdisciplinarity: the case for interdisciplinary knowledge and research // *Soc. Sci. J.* 1997. V. 34, No. 2. P. 210-216.
- Parson E.** 1995. Integrated assessment and environmental policymaking. *Energy Policy* 23(4/5):463-475.
- Polya G.** How to Solve it. Princeton (NJ): Princeton University Press, 1945. 253 p.
- Riley G.A.** A theoretical analysis of the zooplankton population of Georges Bank // *J. Mar. Res.* 1947. V. 6, No. 2. P.104-113. (Quoted in: Swartzman G.L., Kaluzny S.P. Ecological Simulation Primer. N. Y.: Macmillan. 1987. 370 p.).
- Risbey J., Kandlikar M., Dowlatabadi H.** Learning from integrated assessment of climate change // *Clim. Change.* 1996. V. 34. P. 369-395.
- Schrage M.** Serious Play: How the World's Best Companies Simulate to Innovate. Boston: Harvard Business School Press, 2000. 244 p.

Starfield A.M., Bleloch A.L. Building Models for Conservation and Wildlife Management / 2nd ed. Edina (MN): Interaction, 1991. 252 p.

Starfield A.M., Roth J.D., Ralls K. «Mobbing» in Hawaiian monk seals (*Monachus schauinslandi*): the value of simulation modeling in the absence of apparently crucial data // Conserv. Biol. 1995. V. 9, No. 1. P. 166-174.

Starfield A.M., Smith K.A., Bleloch A.L. How to Model it: Problem Solving for the Computer Age / 2nd ed. Edina (MN): Interaction, 1994. 206 p.

Walters C.J. Adaptive Management of Renewable Resources. N. Y.: Macmillan, 1986. 374 p.



Крейг Николсон
Craig R. Nicolson



Энтони М. Старфилд
Anthony M. Starfield



Гари П. Кофинас
Gary P. Kofinas



Джек А. Крузе
Jack A. Kruse

° Еще раз перечислю и дополнительно прокомментирую (моральное право на это мне дает определенный опыт работы в такого рода проектах [Экологическая экспертиза., 1988; Розенберг и др., 1990, 1997; Найдено и др., 1993; Асарин и др., 1996]) рассмотренные десять эвристик, которые по мнению авторов (см. выше фото из Интернета) способствуют повышению эффективности (системности) коллективного труда естествоиспытателей (совместно с представителями власти и общественности) по реализации крупных программ в масштабах бассейнов больших рек, биомов, регионов, страны, континентов и всей планеты Земля в целом.

1. Определиться с перечнем специальностей (по возможности, ранжировать их по важности в достижении цели проекта) при подборе междисциплинарной команды.

Первая и, наверное, самая важная эвристика – в полном соответствии с высказыванием капитана Врунгеля (главный герой повести Андрея Некрасова «Приключения капитана Врунгеля», 1937 г.): «Как вы яхту назовёте, так она и поплывёт». Особенно сложно определять состав исполнителей крупного междисциплинарного проекта в отечественных реалиях.

Во-первых, руководителем проекта должен быть авторитетный исследователь энциклопедического спектра знаний; к сожалению, наша система образования (в отличие от советской) более конкретна (специализирована) и не позволяет воспитывать и обучать системному мышлению («энциклопедисты» исчезают как класс).

Во-вторых, необходимость «ранжировать» специалистов по степени их представленности в проекте, сталкивается с *эффектом кулика*: «всяк кулик свое болото хвалит». И это определяет важность **эвристик 2-4**.

Наконец, Большой Проект (Большая Программа) – это всегда большое финансирование. И здесь не избежать *эффекта Скруджа Макдака* (Scrooge McDuck, скряга; персонаж мультфильмов и комиксов, антропоморфный селезень-миллиардер шотландского происхождения, главный герой диснеевского мультсериала «Утиные истории»; 1947 г.).



У многих исследователей складывается впечатление, что все (!) выделяемые средства должны быть использованы именно данным специалистом и, лучше всего, на его зарплату... Много усилий уходит на то, чтобы «сломать» такой стереотип (и не всегда успешно).

2. Инвестировать в определение (уточнение) проблемы в начале проекта (понять, что Заказчик хочет от нас).
 Серьёзная работа Исполнителя с Заказчиком должна начинаться еще на предварительном этапе обсуждения параметров «Технического задания». Зачастую, распределение финансов (если представить проект от идеи до реализации в виде 100%) схематично должно выглядеть так: 30% – концепция (эвристика 1 и 2), 20% – рабочий проект (эвристика 3) и 50% – реализация (эвристика 4-10).
3. На всех этапах осуществления проекта использовать простые, объяснительные модели (быстрое макетирование, prototyping).
 В рамках данной эвристики остановлюсь на визуализации, как представлении числовой информации в простом виде, удобном для зрительного наблюдения и анализа (простейшие приёмы – картинка (график, диаграмма), фото, видео, макет, диорама и пр.). Визуализация информации – это (интерактивное) изучение визуальных представлений абстрактных данных для усиления человеческого восприятия (Желязны, 2004; Schirra, 2005).



Севастополь. 9 января 2020 г. Президент РФ Владимир Путин посетил Черноморское высшее военно-морское ордена Красной звезды училище имени П.С. Нахимова, где осмотрел выставку, посвященную перспективам развития Военно-морского флота (осмотр макета морского авианесущего комплекса)

4. Сфокусировать усилия на достижение главной цели проекта, не выделяя все средства заранее.
 Вполне очевидная эвристика. Но о ней необходимо постоянно помнить, так как в процессе достаточно длительного выполнения проекта могут возникать интересные «промежуточные» цели, новые задачи и пр.; всё это может «увести» команду разработчиков от основной цели проекта, что, естественно, крайне нежелательно. В статье (Nicolson et al., 2002) предлагается интересный механизм такого фокусирования: избирательно, долями выделять средства на достижение главной цели проекта. Этот процесс должен быть оговорен в техническом задании и строго соблюдаться.
5. По возможности, упрощать исследуемую СЭЭС, запрещая даже обсуждать блоки (компоненты) моделей, описание которых на конкретном этапе работы признаны неосуществимыми (недостижимы, загадочны, inscrutable).
 Фактически, эта эвристика касается различий «хорошо» и «плохо организованных систем». Для первых (детерминированных) возможно определить элементы системы, их взаимосвязь, правила объединения в более крупные

компоненты и пр., т. е. определить связи между всеми компонентами и целями системы, ради достижения которых и реализуется междисциплинарная программа. Для плохо организованной системы (чаще всего, диффузной, стохастической) задача определить все учитываемые компоненты, их свойства и связи между ними и целями системы не ставится. В этом случае, действительно, необходимо «уходить» от таких блоков и характеризовать систему *набором макропараметров* (Налимов, 1970; Волкова, Темников, 1978).

Стохастический, плохо организованный блок, конечно, нельзя «запрещать обсуждать»; следует помнить, что получаемые в этом случае результаты будут вероятностными и иметь некоторый интервал достоверности. Думаю, что именно в таком контексте и следует принимать данную эвристику, которая, к тому же, «коррелирует» с **эвристикой 7**.

6. Вместо того, чтобы концентрироваться на синтезе одной универсальной модели, инвестируйте в набор моделей, каждая из которых имеет четко определенную цель.

См. сноску с.

7. Поддерживайте здоровый баланс между хорошо и плохо понятыми компонентами системы.

Очень интересная и во многом субъективная эвристика. Приведу без комментариев несколько цитат, которые, на мой взгляд, удачно демонстрируют все «за» и «против» этого этапа работы творческого коллектива.

- «Кто думает, что он знает что-нибудь, тот ничего ещё не знает так, как должно знать» (апостол Павел «Первое послание к Коринфянам», 8:2).
- «Я знаю, что ничего не знаю» (Сократ или Демокрит).
- «Истинное знание – в том, чтобы знать пределы своего невежества» (Конфуций).
- «В иерархической системе каждый индивидуум имеет тенденцию подняться до уровня своей некомпетентности» (*принцип Питера* [Питер, 1990, с. 59]).
- Люди, имеющие низкий уровень квалификации, делают ошибочные выводы, принимают неудачные решения и при этом неспособны осознавать свои ошибки в силу низкого уровня своей квалификации; это приводит к возникновению у них завышенных представлений о собственных способностях, в то время как действительно высококвалифицированные люди, наоборот, склонны занижать оценку своих способностей и страдать от недостаточной уверенности в своих силах, считая других более компетентными (*эффект Даннинга – Крюгера* [Kruger, Dunning, 1999, p. 1121]).

Эта эвристика реализуется с использованием **эвристики 9**; каждый, кто занимался реальными большими проектами, знает, что приходится

сталкиваться с исследователями разного уровня компетенции и демагогии.

8. Анализ чувствительности модели жизненно важен на всех этапах моделирования.

См. сноску d.

9. Упорно работайте над общением и бюджетом при личных встречах.

«Умение вести себя с людьми надлежащим образом является важнейшим фактором, определяющим шансы добиться успехов, облегчает установление контактов, способствует достижению взаимопонимания, создает хорошие, устойчивые взаимоотношения и т. д.» (Сорокина, 2017, с. 5). Общение – необходимый аспект социальной жизни, без которого существование в современном обществе просто невозможно. Особую роль общение играет в качестве важного аспекта командной (совместной) работы по реализации междисциплинарных проектов. Однако коммуникационные способности у разных людей различаются. Одним удается сформировать широкий круг общения, что позволяет им извлекать пользу, кроме всего прочего, и в профессиональном отношении; у других же контакты с окружающими людьми носят весьма ограниченный характер.



[<https://123ru.net/smi/nastroy-net/217890210/>]

Деловой этикет основывается на тех же нравственных нормах, что и светский: вежливость, тактичность, скромность, корректность, благородство, точность, доказательность. И к каждому члену команды важно подобрать правильный подход (например, кто-то любит, чтобы его заслуги признавались публично, а другой предпочитает получать похвалу при личной встрече с руководителем). Всему этому следует учиться постоянно (см., например, [Скаженик, 2006; Сорокина, 2017 и др.]). И как давно отмечал Жан де Лабрюйер (Jean de La Bruyère; 1645-1696; французский писатель-моралист), «Талантом собеседника отличается не тот, кто охотно говорит сам, а тот, с кем охотно говорят другие» [<http://www.classes.ru/persons/writers/bruyere.html>].

В отечественных условиях (думаю, и не только) важным механизмом реализации этой эвристики должно стать резервирование ресурсов, что снижает риски и помогает эффективно планировать бюджет проекта.

10. Подходите к проекту со смирением.

Переводя эту эвристику, я не смог подобрать к «humility» понятие лучше, чем «смирение». Многие считают, что смирение – это признак слабости души, боязни ответственности, даже трусости. Но смирение – это и негативное восприятие бунта «против основ». А какой смысл «бунтовать» против технического задания?

В этой эвристике можно услышать «переключку» с **эвристикой 1** (особенно, при подведении итогов и «дележе» вознаграждения – не будем забывать про *эффект Скруджа Макдака*).

Однако, «смирение – смирением», но **никогда не сдавайтесь!**

ЛИТЕРАТУРА, ЦИТИРОВАННАЯ В КОММЕНТАРИЯХ

Асарин А.Е., Беляков А.А., Бурцева Н.Н., Веницианов Е.В., <...> Розенберг Г.С. и др. (34 авторов). «Возрождение Волги» – шаг к спасению России. М.; Н. Новгород: Экология, 1996. 464 с.

Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во ин. лит-ры, 1960. 400 с.

Брукс Ф.П., мл. Как проектируются и создаются программные комплексы. Мифический человеко-месяц. Очерки по системному программированию. М.: Наука, 1979. 152 с.

Волкова В.Н., Темников Ф.Е. Подход к выбору метода формализованного представления систем // Моделирование сложных систем. М.: МДНТП, 1978. С. 38-40.

Желязны Дж. Говори на языке диаграмм: Пособие по визуальным коммуникациям для руководителей. М.: Ин-т комплексных стратегических исследований, 2004. 220 с.

Мейен С.В. Проблема редукционизма в биологии // Диалектика развития в природе и научном познании: (К 100-летию книги Ф. Энгельса «Анти-Дюринг»). М.: Наука, 1978. С. 135-169.

Молчанов А.М. Математические модели в экологии. Роль критических режимов // Математические моделирование в биологии. М.: Наука, 1975. С. 133-141.

Найденко В.В., Авдеев А.И., Акчурин Б.К., <...> **Розенберг Г.С. и др.** (185 авторов). Проект Федеральной экологической программы "Оздоровление экологической обстановки и повышение ресурсного и хозяйственного потенциала Волжского бассейна «Возрождение Волги» 1993-2010 гг.". Н. Новгород: НГАСА, 1993. 133 с.

Налимов В.В. Влияние идей кибернетики и математической статистики на методологию научных исследований // Методологические проблемы ки-

бернетики: материалы к Всесоюзной конференции. Т. 1. М.: Ин-т философии АН СССР, 1970. С. 50-71.

Недоступ Л.М. Чувствительность моделей водных экосистем, находящихся под антропогенным воздействием // Проблемы сохранения, защиты и улучшения качества природных вод. М.: Наука, 1982. С. 139-155.

Питер Л.Дж. Принцип Питера, или, Почему дела идут вкривь и вкось. М.: Прогресс, 1990. 320 с.

Розенберг Г.С. Введение в теоретическую экологию / В 2-х т.; Изд. 2-е, исправленное и дополненное. Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 1. 565 с. Т. 2. 445 с.

Розенберг Г.С., Беспалый В.Г., Попченко В.И. и др. (11 авторов). Экологическая экспертиза проекта Крапивинского гидроузла на р. Томи в Кемеровской области. Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1990. 33 с.

Розенберг Г.С., Беспалый В.Г., Попченко В.И., и др. (12 авторов). Сводное экспертное заключение по проекту Крапивинского гидроузла на р. Томи Кемеровской области // Павловский В.А., Сафонов В.В., Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П. Экологическая экспертиза: теория и практика (Опыт применения в Самарской области). Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области. Вып. 5. Самара: Госкомитет по охр. окр. среды Самар. обл., 1997. С. 107-141.

Саранча Д.А. Количественные методы экологии. Биофизические аспекты и математическое моделирование: Учеб. пособие. М.: МФТИ, 1996. 250 с. (Сер. «Экологическая безопасность и устойчивое развитие»).

Скаженик Е.Н. Деловое общение. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. 180 с.

Сорокина А.В. Основы делового общения. М.: Т8RUGRAM / Научная книга, 2017. 160 с.

Экологическая экспертиза проекта Иштугановского (Башкирского) водохранилища на р. Белой в Башкирской АССР (науч. рук. экспертной группы д.б.н. Розенберг Г.С.). Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1988. 11 с. (см. также газ. «Сов. Россия», 1988, № 131).

Kruger J., Dunning D. Unskilled and Unaware of It: How Difficulties in Recognizing One's Own Incompetence Lead to Inflated Self-Assessments // J. Personality and Social Psychology. 1999. V. 77, No. 6. P. 1121-1134.

Nicolson C.R., Starfield A.M., Kofinas G.P., Kruse J.A. Ten heuristics for interdisciplinary modeling projects // Ecosystems. 2002. V. 5, No. 4. P. 376-384.

Schirra J.R.J. Foundation of Computational Visualisitics. Magdeburg: Deutscher Univ.-Verlag, 2005. 312 p.

Tomovic R. Sensitivity Analysis of Dynamic Systems. N. Y.: McGraw-Hill, 1963. 149 p.